

INFORMACION

Notas sobre la minería y metalurgia españolas en la época del Imperio

Por O. PUCHE RIART (*) y F. J. AYALA CARCEDO (**)

INTRODUCCION

Las principales contribuciones de España a la Tecnología se han dado históricamente en tres campos principales: las técnicas navales y de navegación, las técnicas militares y las técnicas minero-metalúrgicas. Todas están en relación estrecha con el reto americano, con el Imperio, en sus vertientes de exploración y colonización. Esta gigantesca empresa, llevada en su vertiente exploratoria en poco más de cincuenta años, constituyó, en los tres campos antes mencionados, las más potentes organizaciones de su época, favoreciendo así el desarrollo de la innovación tecnológica.

También los descubrimientos científicos fueron favorecidos por este gran reto: de la Botánica y la Farmacología a la Química, con el hallazgo de tres nuevos metales por parte de mineros españoles, en el siglo XVIII.

La minería se estructuró en torno a los metales preciosos, principalmente la plata. Esta orientación que ya en buena parte se daba en Europa, principalmente en Alemania, era prácticamente inevitable por diversas razones. En primer lugar por la existencia abundante de los mismos en los virreinos de Nueva España y Perú. Por otra parte, la abundante población indígena y el nivel de organización social, Civilización, que facilitaría a través del sistema de la mita el trabajo sistemático y masivo de yacimientos. No hay que olvidar por otra parte el alto costo de los transportes marítimos con los medios de la época, que privilegiaba el tránsito de las mercancías valiosas, y el hecho de las ideas mercantilistas en boga que situaban como objetivo central de la política económica la posesión de metales preciosos, estrictamente necesarios por otra parte para el nacimiento del comercio (AYALA, F. J., 1994). Esto traería la Revolución Comercial de la Edad Moderna, y tras la Revolución

Agrícola inglesa del XVIII, desencadenaría la Era Industrial. La minería y metalurgia de los metales preciosos en América estaba, pues, en la naturaleza de las cosas. La crítica a este hecho, proveniente como señala CARLOS PRIETO (1977), "de quienes organizaban la piratería para apropiárselos en alta mar" y que fueron además sus principales beneficiarios, tras el fugaz paso por España, debe comprenderse más bien desde la perspectiva de desprestigio del enemigo. Andando el tiempo y ya caído el Imperio Español se asistiría en los países anglosajones a cuatro fiebres del oro consecutivas: California, Australia, Sudáfrica y Alaska. También en estos casos la minería cumpliría un importante papel como motor de exploración y colonización.

En Portugal se siguió con Brasil un proceso parecido, con dos diferencias: el énfasis en el oro y en su concentración, especialmente, en el siglo XVIII. El principal beneficiario, Inglaterra.

LOS ANTECEDENTES: LA MINERIA CON LOS REYES CATOLICOS

En los Fueros Viejos de Castilla y en las normas dictadas por los monarcas medievales, tal es el caso de lo aprobado por las Cortes de Briviesca en 1387, se señala que el titular de las minas es el Rey y que nadie puede labrarlas sin su mandato. El Jefe del Estado otorga las regalías y marca los niveles impositivos (dos tercios para el Rey y un tercio para el minero). Asimismo determinan la necesaria autorización del propietario del terreno. Este duro sistema no beneficiaba mucho el laboreo, que persistía pero sin gran empuje.

En 1479 contraen matrimonio FERNANDO e ISABEL y enseguida inician su pugna con la nobleza para fortalecer el poder de la Monarquía: son los primeros pasos para fundar un Estado moderno. En este marco político, hay que

considerar la incorporación a la Corona del Maestrazgo de Calatrava, en 1484 (confirmado por bula pontificia en 1487). Recordemos que esta Orden era la administradora de las famosas minas de Almadén.

Según cuentan JOSE LUIS SOBRINO et al. (1981) los Reyes Católicos efectúan una política eficaz de caminos y puertos, potencian la cabaña real de carreteros y logran gran activación del comercio. Un ejemplo de ello podría ser, por ejemplo, la venta de alumbre a Flandes, por parte de castellanos y vizcaínos.

El alumbre se empleaba en la industria del curtido, como mordiente en el teñido de las telas, para el tratamiento de la seda o para subir la graduación alcohólica de los vinos, entre otros usos. Con la caída de Bizancio se cerraron los mercados orientales, de donde se importaba esta sustancia, y hubo que volver la vista hacia los criaderos italianos de Tolfa, así como hacia los españoles de Mazarrón, Adamus y otros. Según señala BALLESTEROS, en el siglo XVI había un enorme consumo de este producto, constituyendo un importante monopolio.

Sin embargo, el metal que supondría una mayor actividad minera en el Reino, fue el hierro. Cuenta el profesor F. R. MORRAL (1993) que hacia el año 1500 operaban entre Guipúzcoa y Vizcaya unas 300 ferrerías, con producciones medias de 50 Tm/año. Esta cifra es similar a las que nos da el padre GABRIEL HENAO (1689), en idéntica fecha, pero sólo para la segunda provincia. Otro foco metalúrgico lo tenemos en los Pirineos Orientales, concretamente en el condado de Foix, donde funcionaban unas 150 fargas.

Hay numerosos documentos sobre la producción, metalurgia y exportación del hierro. Uno de ellos es la carta de JUAN II de Castilla, fechada el 16 de febrero de 1439, a LOPE DE SALAZAR, concediéndole licencia para que pudiese sacar mineral de Somorrostro fuera del Reino. La apetenencia de hierro desde los cercanos mercados de Londres y Flandes, así como las facilidades dadas para la exportación provocaron el desabastecimiento de los ferrones vascongados y enseguida vinieron las medidas protectoras. El 24 de febrero de 1489, los Reyes Católicos ordenan que el mineral de hierro fuese vendido a los naturales del país y no a los extranjeros. En carta de 6 de abril de 1499 y en otra posterior, de 5 de septiembre de 1503, vuelven a mandar que no se saque vena de hierro fuera del Reino. Esta insistencia legislativa nos lleva a confirmar la existencia de un importante contrabando, fiscalizado por jueces especiales de Bilbao y San Sebastián.

El oro y la plata escaseaban, por ello los Reyes Católicos, trataron de evitar la salida de los metales nobles con una rígida legislación. Asimismo se tomaron medidas como prohibir las importaciones de sal, lo que vino a estimular el laboreo de este producto para mantener el consumo nacional. Explotaciones de halita había en Cardona, Minglanilla, Atienza, Poza de la Sal y otros lugares.

Las necesidades de oro y plata quedarían cubiertas rápidamente gracias a la conquista del Nuevo Mundo. El padre BARTOLOME DE LAS CASAS, en *Historia de las Indias* (1559) cuenta que CRISTOBAL COLON en su segundo viaje, llegó a La Española con herramientas y personal para sacar el oro de las minas. Al año siguiente, en 1494, en un

Memorial dirigido a los Reyes pedía lavadores de oro y mineros de Almadén. Parece ser que dentro de la escasa minería española las minas de mercurio tenían un cierto nombre.

Tras el oro de La Española, enseguida se descubrieron otras minas en Cuba, Puerto Rico y el Continente.

SIGLO XVI: SIGLO DE ORO DE LA MINERIA

El siglo XVI podemos considerarlo como el Siglo de Oro de la minería. En dicha centuria se produjeron los descubrimientos de las principales minas americanas, se lograron importantes producciones metálicas y hubo notables descubrimientos técnicos.

En 1519, año del desembarco de CARLOS V en la costa cantábrica, HERNAN CORTES inicia la conquista del actual Méjico; poco después comenzaron las labores mineras. Cuenta CARLOS PRIETO (1977) que las primeras minas de plata que explotaron los españoles en Nueva España fueron las de Morcillo, en Jalisco, hacia 1525, aunque serían abandonadas con prontitud. Las minas históricas famosas son algo posteriores: las vetas de Tasco, en Guerrero se descubrieron hacia 1534; Zacatecas, fue reconocida en 1546; Santa Bárbara, en Chihuahua, data de 1547; Guanajuato inicia su actividad hacia 1550; y por último, Pachuca y Real del Monte son de 1552.

Tras las expediciones de FRANCISCO PIZARRO, de 1524 y 1532, se conquista Perú; poco después, en 1545, se descubre el Cerro Rico de Potosí (Fig. 1), aunque con anterioridad ya se habían encontrado las minas de Porco. Potosí iba a ser la mina más importante del Mundo, de la que se sacó mayor riqueza. Cuenta GUILLERMO CESPEDDES DEL CASTILLO (1983) que, a finales del siglo XVI, estas minas producían el 50% de la plata a nivel mundial y el 80% de las del Perú. HUMBOLDT da la cifra de 1.095,5 millones de pesos para el periodo 1543-1803, casi la cuarta parte del total enviado a España, 4.400 millones de pesos (FLORISEL, 1927).

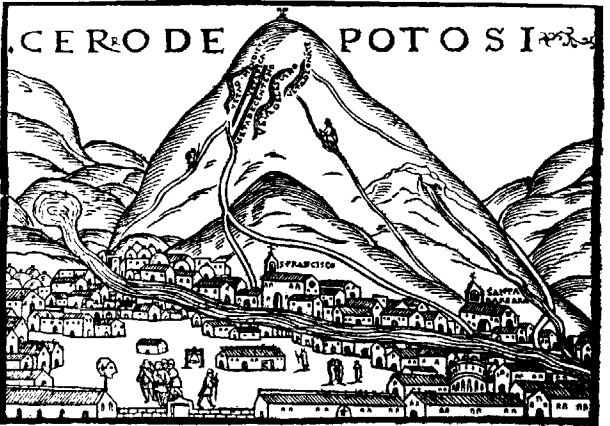


Figura 1. Dibujo de la ciudad y Montaña de Plata de Potosí, indicando las principales vetas. De la Crónica del Perú, de PEDRO CIEZA DE LEON, 1553 (Tomado de CARLOS PRIETO, 1977)

(*) E.T.S. Ing. Minas Madrid. INHIGEO
(**) ITGE. INHIGEO

PEDRO CIEZA DE LEON, en la *Crónica del Perú* (1553), explica como los españoles intentaron producir por fusión el metal argentífero sin conseguirlo. Los indios quechuas obtenían la plata, desde hacía años, mediante unos hornos llamados "guayras" de los que salió la producción de los primeros tiempos. En la obra de ALONSO BARBA, *El Arte de los Metales* (1640), es uno de los pocos lugares donde aparecen dibujados estos ingenios.

La minería de la plata en Potosí y otros lugares, empezó a sufrir un cierto declive al disminuir las leyes al avanzar la profundidad de las explotaciones y al dar paso la plata nativa a los sulfuros y sulfosales. Como ha señalado MESA-GUER PARDÓ, J. (1949), las leyes del siglo XVI fueron altas debido a la explotación de las monteras, pero fueron decreciendo y haciéndose incluso inferiores a las europeas. Ello obligó a una minería y metalurgia muy depuradas, y probablemente esta es la base de las innovaciones realizadas. Pronto llegaría la solución al problema: en 1553, BARTOLOME DE MEDINA descubre un procedimiento industrial de amalgamación en frío, bautizado con el nombre de método de patio, que se implantaría con rapidez por toda América. Este beneficio consistía en la adición de sal y mercurio que se incorporaban al mineral molido, dispuesto en montones en un patio, activándose los contactos entre reactivos mediante la trilla. Hacia 1572, PEDRO FERNANDEZ DE VELASCO introduce la amalgamación en Perú, buscando un procedimiento que se adaptara a las duras condiciones climáticas de la región andina. Al principio se realiza el proceso en frío, operándose la mezcla en unas zanjales, pero enseguida se pasa a la amalgamación en caliente, aplicando fuego a cajones; es lo que se denomina beneficio de buitrones, inspirado en el método mejicano de las estufas.

No tan importante como la plata fue el oro, pero sí tuvo un gran peso específico en la economía colonial. Los yacimientos más importantes se descubrieron en la primera mitad del siglo XVI. Así tenemos los del Chocó, en Colombia, los de Loja y Zamora, en Ecuador, o los de Carabaya y Oruro, en Bolivia. La mayor parte del preciado elemento provenía de su extracción en placeres, mediante bateas. También hay que reseñar su beneficio por amalgamación y su purificación con agua fuerte.

De lo expresado con anterioridad cabe deducir la necesidad de mercurio. En Almadén constatamos un incremento en la producción de azogue a principios de siglo, antecedido al descubrimiento del método de patio. Esto se comprueba en documento anónimo, fechado en 1543, que se encuentra en la Real Academia de Historia. En él, hemos podido leer: "... y aunque ahora XXX años no se sacaban della cien quintales de azogue, agora se sacan mill y quinientos...". Esto suponemos se puede interpretar como un cambio sustancial en el método metalúrgico que consistiría en la aplicación de los nuevos hornos de xabecas (PUCHE, O., en CASTILLO, M. (Ed.), 1993).

En 1563 se descubren en Perú las ricas minas mercuriales de Guancavelica (Fig. 2), que con altibajos proporcionarían el azogue a las minas de plata de dicho Virreinato, sobre todo en sus primeros tiempos. Los mejicanos en cambio dependieron casi en exclusiva del mercurio de Almadén.

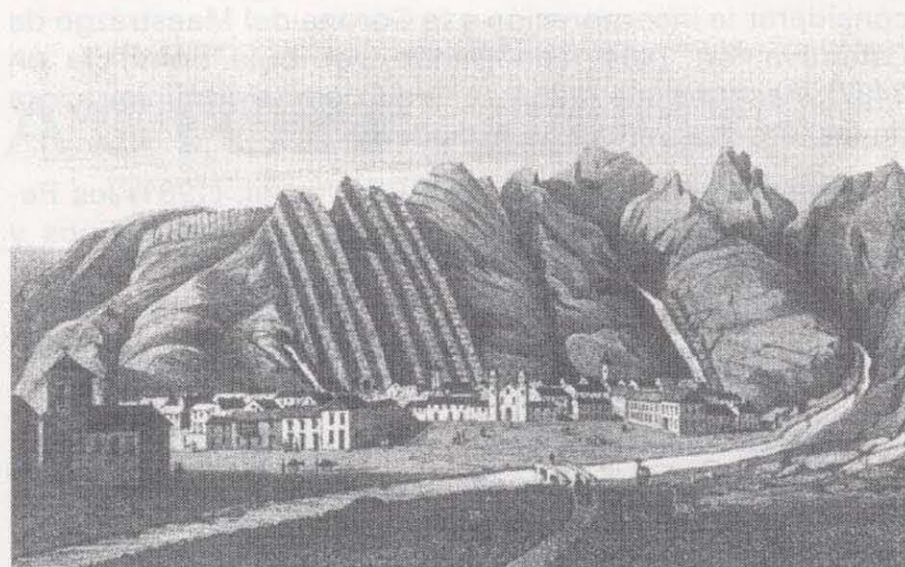


Figura 2. Dibujo de la villa y socavón de entrada a las minas de Guancavelica, principal productora de mercurio durante la época del Imperio. De *Colección de Memorias científicas, agrícolas e industriales*, de MARIANO EDUARDO DE RIVERO y USTARRIZ, 1857 (Tomado de PUCHE, O. y BROWN, K., 1992).

En Guancavelica enseguida se aplicó el método de las ollas (Fig. 3), recién descrito por GEORGIUS AGRICOLA, en el Libro IX del *De Re Metallica* (1556). Este beneficio, de corta productividad y derroche energético es señalado por AGRICOLA como el más empleado; sin embargo, las mayores necesidades de mercurio pedían otros procesos. Por fin los hornos de xabecas de Almadén llegan a las minas de Perú, en 1596 (Fig. 4). Esta lenta velocidad en los intercambios tecnológicos Europa-América sólo la podemos interpretar como debida a la dificultad para el transporte y por la falta de personas técnicamente preparadas.

En el *Memorial y relación de minas de azogue del Perú*, de 1607, se señala que: "...el beneficio de azogue se hacía con leña, la cual se acabó tan presto que ya no se podía beneficiar... y RODRIGO TORRES DE NAVARRA dio orden cómo se beneficiasen con hicho...". El empleo de este combustible sustitutorio, el arbusto "stipa ichu", da una idea del ingenio desarrollado por los mineros para ir resolviendo los problemas locales.

La demanda del otro producto necesario para la amalgamación, la sal, favoreció el nacimiento de salinas. En Perú, reseñamos las de Potosí y en Méjico, las salinas viejas de Santa María.

La riqueza generada sirvió para el mantenimiento del Imperio en Europa y para frenar por Oriente a los turcos, pero a costa de ceder caudales a los banqueros europeos. La conquista de América enriqueció a Europa y extenuó a España. Como el Estado se fue endeudando tuvo que recurrir a los créditos bancarios. Por ello, en 1521, se vio obligado a realizar el asiento de Almadén con los FUGGER o FUCARES. Asimismo se cedió a extranjeros el monopolio del alumbre.

Hacía falta una nueva legislación minera, sobre todo para mantener de forma fija los ingresos del Estado. FELIPE II

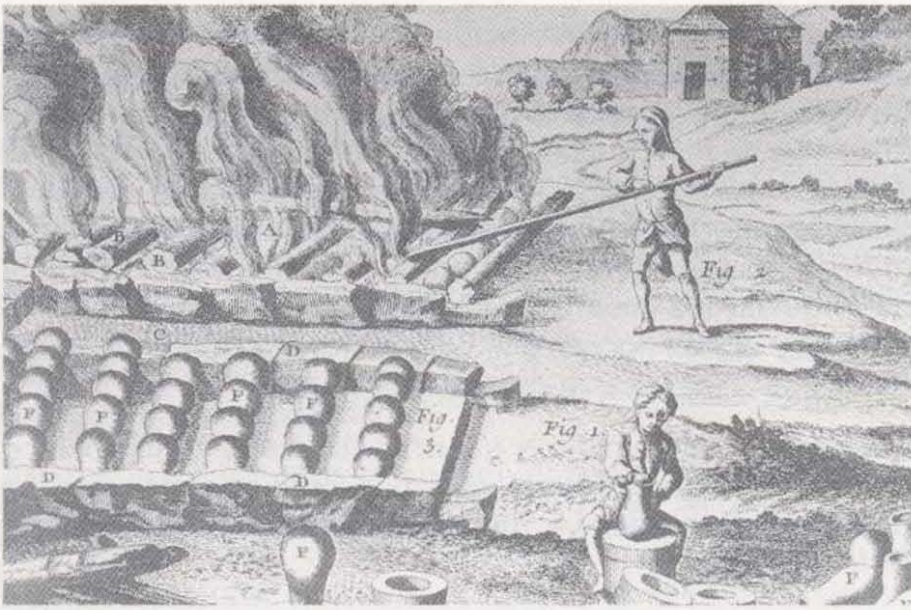


Figura 3. -Método de las ollas para la destilación de mercurio, descrito por AGRICOLA, en el libro de IX De Re Metallica (1556). El dibujo es de M. GOUSIERS (1768). Este procedimiento se empleó en Guancavelica en sus primeros tiempos.

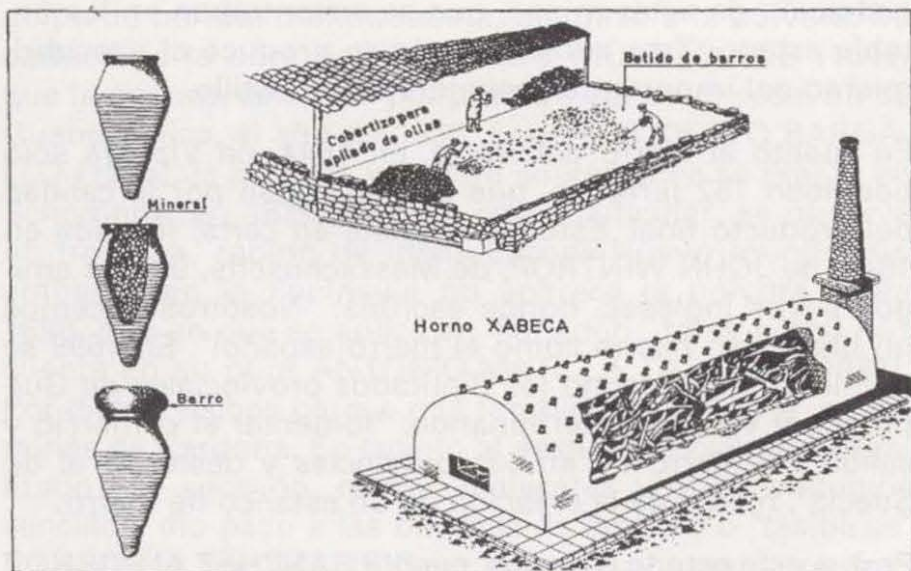


Figura 4. -Dibujo donde se reproduce la imagen de los hornos de xabecas de Almadén, empleados para destilar mercurio a partir de cinabrio. Fueron inventados a principios del XVI e introducidos en Perú a final de siglo. Del folleto Almadén. Ed. MAYASA (1970).

se ocuparía de ello, dictando en Valladolid, la Pragmática y Ordenanzas de 10 de enero de 1559. Esta normativa sustituiría a las leyes dadas por las Cortes de Briviesca en 1387. En ella se señala que las minas de oro, plata y azogue se incorporan al patrimonio real. El Virrey TOLEDO trataría de imponer estas normas en Perú, logrando que en 1572 todas las labores de Guancavelica hubiesen pasado a la Corona, comenzando, en 1573, su explotación por asientos, al estilo de lo que ya se hacía en Almadén años antes. El transporte de mercurio también se rigió por el régimen de asientos. Asimismo se organizaron los estancos dónde el Estado vendía el mercurio y compraba obligatoriamente la plata a precio fijo.

El otro importantísimo problema de la conquista americana fue el despoblamiento de la Península. No sólo partió la gente más decidida y creativa, sino que se instauró un grave déficit de mano de obra. La escasez de operarios hizo que subieran los salarios y la actividad minera entró en crisis. Pese a todo, en 1525, el acero toledano adquiría fama mundial. La minería del Norte se mantuvo como pudo; así en 1528 el Fuero de Vizcaya prohíbe la exportación de sus minerales, pero en las Cortes de 1537 los procuradores vizcaínos se quejan como sale vena de hierro a Francia, señalando que de proseguir esto en diez años se acabarían los mineros, con lo que subiría el coste del hierro y del acero. Para ser competitivos hubo que mejorar las técnicas, según recoge el padre GABRIEL HENAO (1689); así en 1540 se montaron las herrerías de Vizcaya con rueda mayor y martinete a la genovesa. Y, pese a la crisis minera, en 1568 se instala en Ripoll la primera farga.

En cuanto a otros productos, señalar que en 1555 se descubren las minas de plata de Guadalcanal, donde mosen ANTONIO BOTELLER trata de introducir la amalgamación mediante un proceso similar al descrito por VANNUCCIO BIRINGUCCIO, autor que más influencia tuvo sobre AGRICOLA. Asimismo, por aquellas fechas, en el valle de Alcudia y zonas colindantes, había más de 75 explotaciones, mayoritariamente de plomo, aunque con bajas producciones. Las salinas seguían dando amplias rentas a la Monarquía. De igual forma, también se explotaban minas de cobre, para la artillería, en Guadix, Baza, zona de Linares, Teruel y Galicia.

A CABALLO ENTRE LOS SIGLOS XVI Y XVII: LAS MEJORAS EN LOS METODOS DE AMALGAMACION

En las estadísticas de extracción de plata en Potosí, que nos da CROZIER, D. (1993) se observa una máxima producción entre 1585 y 1605, que luego fue cayendo de forma paulatina e inexorable.

En estos incrementos de producción hay que tener en cuenta las mejoras en los procesos de amalgamación, disminuyendo el consumo de mercurio, acortando los tiempos de trabajo y mejorando los rendimientos.

En Nueva España destacamos a BERNARDINO SANTA CRUZ, inventor del método llamado de buitrones; JUAN DE PALENCIA, creador de una desazogadora; JUAN DE SAN PEDRO, por el uso de "magistrales"; o JUAN DE CAPELLIN, inventor de la "capellina", en 1576.

En Perú, GABRIEL DE CASTRO y el clérigo GARCI SANCHEZ proponen la incorporación de escorias de hierro en la amalgamación, lo que ayudaba a reducir los cloruros argentíferos a plata nativa. En 1587 CARLOS CORZO añade hierro molido a un proceso de amalgamación en frío. Parece ser que se ahorraba tanto azogue que el Virrey tuvo que prohibir dicho beneficio, pues peligraban las rentas reales de Guancavelica. En 1588, JUAN FERNANDEZ DE MONTANO propone la adición de salmuera, estiércol de caballo y copaquiri (sulfato de cobre); es la primera noticia que disponemos del empleo de "magistral" en Perú. Por

último, señalar que en 1590 ALONSO BARBA inventa el método de cazo y cocimiento, amalgamación en caliente realizada en calderos de cobre con agitación mecánica, que supuso realizar en horas lo que en el método de patio suponía unas tres semanas. También señalar que se perdía menos azogue que con el método de buitrones (a pesar de tapar los cajones al darles fuego) por que no se elevaba la temperatura tanto en los calderos de cobre.

En el cerro de Potosí había unos minerales llamados "pacos", se trataba de los minerales de la zona de oxidación, donde la plata era visible. Tras los "pacos" aparecieron los "negrillos", que eran una mezcla de sulfuros y sulfosales variados: minerales de cobre, de antimonio y otros. Ejemplos de "negrillos" son los "soroques" (con plomo), el "cochizo" o "rosicler" (que son las platas rojas) y suponemos que la calcopirita, ya que para BARBA en el "negrillo" lo que prevalece es el cobre.

Al llegar a los "negrillos", cambió la composición de la mena y hubo problemas en la amalgamación. En 1601, el Consejo de Indias solicita a JERONIMO DE AYANZ un informe para el beneficio de los "negrillos". En la propuesta de AYANZ se propone la adición de un "magistral" cobrizo y cal. Parece ser que con esta formulación a los dos años estaba resuelto el problema. Cuenta BARBA que en dicho tipo de minerales se inicia el proceso quemándolos para favorecer la molienda, eliminar impurezas y facilitar la acción mercurial.

Había otros minerales llamados "machacados", donde a diferencia de los "pacos" la plata nativa no era visible. Para su recuperación, un franciscano inventó el procedimiento de tintin, consistente en mejorar la molienda para facilitar la incorporación del azogue.

En definitiva, con todas estas actuaciones, y en particular con el método de CORZO, disminuyó notablemente el consumo de azogue, pese a los incrementos en la producción de la plata. En los últimos años del siglo XVI se extraían de Guacavelica entre 9.000 y 10.000 quintales de mercurio anuales, mientras que el consumo de azogue por parte de la minería peruana estaba entre 6.000 y 6.500 quintales. Esto generó que en 1598 se tuvieran que cancelar las labores de interior por el "stock" acumulado. Según JORGE FONSECA (1622): "Ilegaban a 35.000 los quintales que había desde Guacavelica a Potosí". De todas formas no sólo hubo criterios económicos en esta suspensión de los trabajos, sino que existía una preocupación, en la persona del Virrey, hacia la salud de los indios mitayos que operaban en las minas. No insistiremos en este capítulo pero sí es conveniente señalar que ha sido uno de los temas tratados de continuo en la historia de la minería peruana.

SIGLO XVII: DECADENCIA MINERA Y ESPLENDOR DE LAS IDEAS

En 1590 se produjo la quiebra del Estado (recordemos que hubo dos con FELIPE II) y se tuvieron que subir los impuestos. La inflación que generaba la abundancia de me-

tales preciosos (la Revolución de los Precios), la presión impositiva, la falta de mano de obra y los gastos imperiales desequilibraron la balanza de pagos. Se producía la afluencia de mercancías foráneas, mientras se hundían los sectores económicos productivos tradicionales con proyección exterior: la lana castellana, la seda andaluza y el hierro vizcaíno. Como contrapunto, la Monarquía trataba de impulsar los sectores económicos, entre ellos la minería. Así, el 22 de agosto de 1584, el Rey promulga unas Ordenanzas Mineras que durarían 241 años.

Cuando en 1607 volvió a quebrar el Estado se intensificó la acuñación de monedas de cobre, para ahorrar plata. La única cuestión positiva fue el aumento de la minería cuprífera peninsular.

En los otros sectores mineros las cosas no iban bien. Los FUGGER, encargados de los asientos de Almadén y Guadalcánal, quebraron hacia mitad de siglo, pese a sus innovaciones metalúrgicas. Entre 1609 y 1637 habían ido sustituyendo los hornos de xabecas por hornos de reverbero, también llamados de buitrones. Desde entonces la zona donde se ubica la metalurgia en Almadén se llama Cerco de Buitrones. En 1646, la Real Hacienda recupera la administración de estas minas, que se encontraban en lamentable estado. Tres años después se produce el descubrimiento del importante yacimiento del Castillo.

En cuanto al hierro del Norte, en 1644, en Vizcaya sólo operaban 152 ferrerías, que se mantenían por la calidad del producto final. Esto se constata en carta, fechada en 1648, de JOHN WINTROP, de Massachusetts, a unos amigos suyos ingleses, donde escribía: "Nosotros hacemos un hierro tan bueno como el hierro español". En 1699 se reunieron en Durango los diputados provinciales de Guipúzcoa y Vizcaya determinando: "fomentar el comercio y salida del hierro de ambas provincias y desterrar al de Suecia", mediante la creación de un estanco de hierro.

Pese a este estado de crisis, cuenta SANCHEZ ALBORNOZ que: "La minería y metalurgia deben a los españoles avances decisivos. Según CARRACIDO señala, llegaron a crear una doctrina sistemática que condensó en principios fundamentales las reglas prácticas".

En España hay movimientos como los novatores que tratan de trasladar a nuestra tierra la Revolución Científica europea.

En 1569, a los pocos años de la publicación de la obra de AGRICOLA, *"De Re Metallica"*, tenemos una obra con idéntico nombre escrita por BERNARDO PEREZ DE VARGAS. En 1572, el médico sevillano JUAN MONARDES edita *"Diálogos del hierro y sus grandezas"*. Sin embargo, la mayor producción literaria minera procede del siglo XVII. JUAN DE OÑATE, visitador de las minas españolas hacia 1624, escribe el *"Tratado muy útil y provechoso de re metallica, con todas las reglas y normas de labrar minas y beneficio de metales, así de fuego como de azogue"*. Pero la obra principal es el *"Arte de los metales"*, del párroco de Potosí ALVARO ALONSO BARBA, tratado metalúrgico por antonomasia durante más de dos siglos y de difusión mundial, al ser traducido a los principales idiomas de Occidente (dos ediciones inglesas, una alemana y otra italiana en el

siglo XVII, así como otras catorce extranjeras en el XVIII). Asimismo queremos reseñar que, a finales de siglo aparece la primera obra en castellano sobre la producción de acero; se trata del *"Memorial sobre el medio de convertir el hierro en acero"*, de ANDRES DAVILA y HEREDIA. Recordemos que en la época de AGRICOLA se empleaba un procedimiento indirecto para la obtención del acero, mediante fusión y afino, según se recoge en *"De Re Metallica"*. Por último señalar que hubo innumerables tratados específicos sobre la amalgamación y sus mejoras que no recogemos en este artículo.

Aparte de los tratados es conveniente reseñar las mejoras e innovaciones mineras. La mayor parte de ellas proceden de América, donde habían emigrado algunos de nuestros mejores hombres. En 1617, el veedor de Guancavelica, JUAN DE BUENDIA, natural de Almadén, diseña unos pozos para la ventilación, desagüe y extracción del mineral, importante obra de ingeniería de su época. Asimismo, en dichas minas se practicaría la ventilación forzada mediante ventiladores. Recordemos que, en 1580, PEDRO CORNEJO, había inventado ya un sistema de ventilación forzada recomendado por el Consejo de Indias para Potosí. En cuanto al arranque, inicialmente realizado a golpe de barreta o almadeneta, dio paso a la pólvora. Se deduce de la obra de FERNANDO MONTESINOS (1642) que la pólvora se aplica por primera vez en el socavón de Guancavelica, el año de 1635. Según MODESTO BARGALLO (1955), la primera voladura subterránea se realiza en Schemnitz, en 1626. En este caso particular, se observa un trasiego rápido de ideas Europa-Nuevo mundo; sin embargo en la Península no aparece la pólvora hasta 1698, año en que se aplica en Almadén, tal y como nos cuenta en su obra ANTONIO MATILLA TASCON (1987). Por dichas fechas parece que también se utilizaría en las minas de Cardona. En cuanto al desagüe inicialmente realizado por socavón, norias, malacates y otros artilugios sencillos, dio paso a las bombas de émbolo o "tesibicas" (inventadas por CTESIBIO en la época romana) que fueron introducidas por MIGUEL DE VIDAÑA Y LUCAS PERES en 1630, en las minas de Pachuca. AYANZ había inventado, en 1606, la primera máquina de vapor (Fig. 5) para el desagüe de las minas (GARCIA TAPIA N. (1989), aunque no tenemos noticias de su aplicación. Esta máquina se anticipó en casi cien años a la de SAVERY en Inglaterra.

En cuanto a la metalurgia, destacamos la creación en 1633 de los hornos busconiles o dragones, ideados por LOPE DE SAAVEDRA Y BARBA para la metalurgia de Guancavelica. Estos hornos (Fig. 6) fueron introducidos en Almadén, en 1646, por JUAN ANTONIO DE BUSTAMANTE, y allí han permanecido, con modificaciones sucesivas, hasta principios del siglo XX. Las notables mejoras en los rendimientos metalúrgicos que daban estos hornos, vendrían reforzadas por el hallazgo del importante criadero del Pozo.

En este siglo es cuando se crean las primeras industrias siderúrgicas dignas de este nombre. Se trata de los hornos de Liérganes y La Cavada (Santander), en 1628 y 1637, así como los de Corduente, cerca de Molina de Aragón, en 1642 (LE FLEN, J. P. et al., 1983).

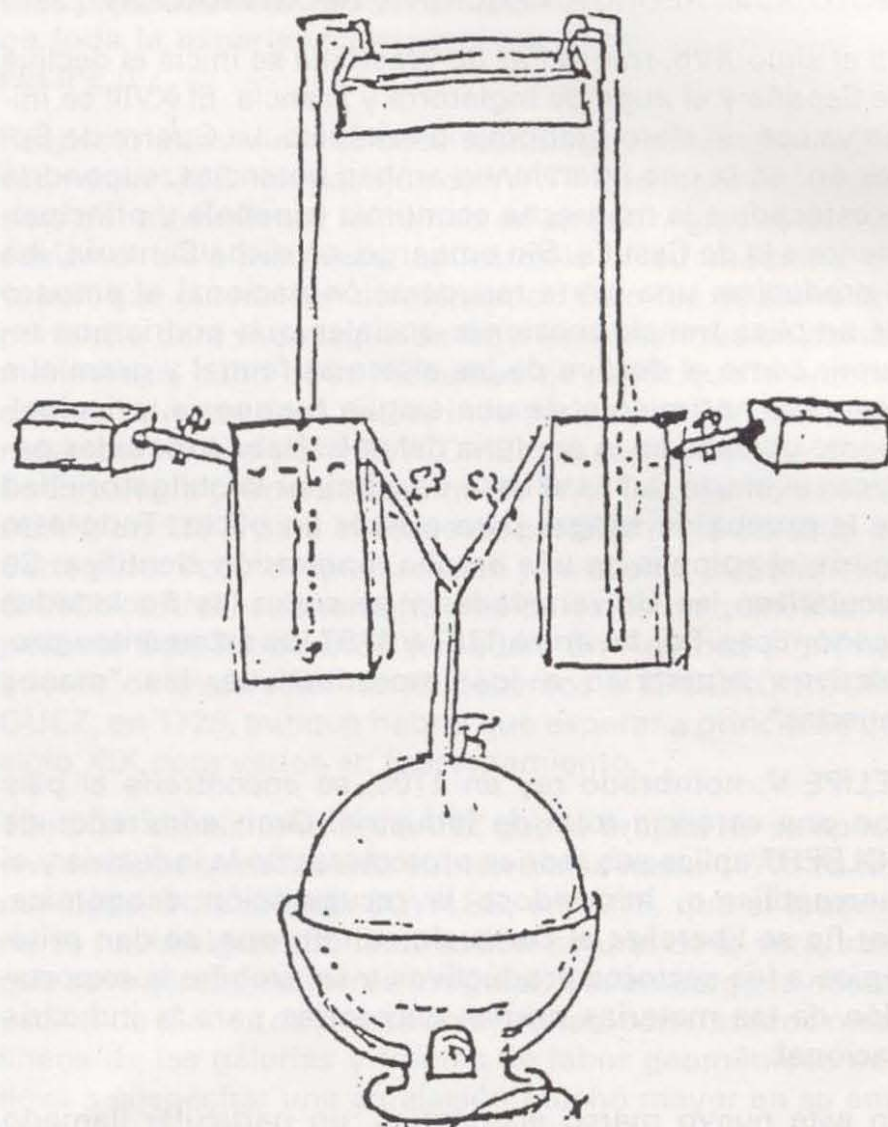


Figura 5. -Máquina de vapor de JERONIMO DE AYANZ, según la patente de 1606, para el desagüe de las minas. El vapor generado en la caldera (abajo) presiona alternativamente sobre el agua de los depósitos, elevándola al depósito superior (in NICOLAS GARCIA TAPIA, 1989).

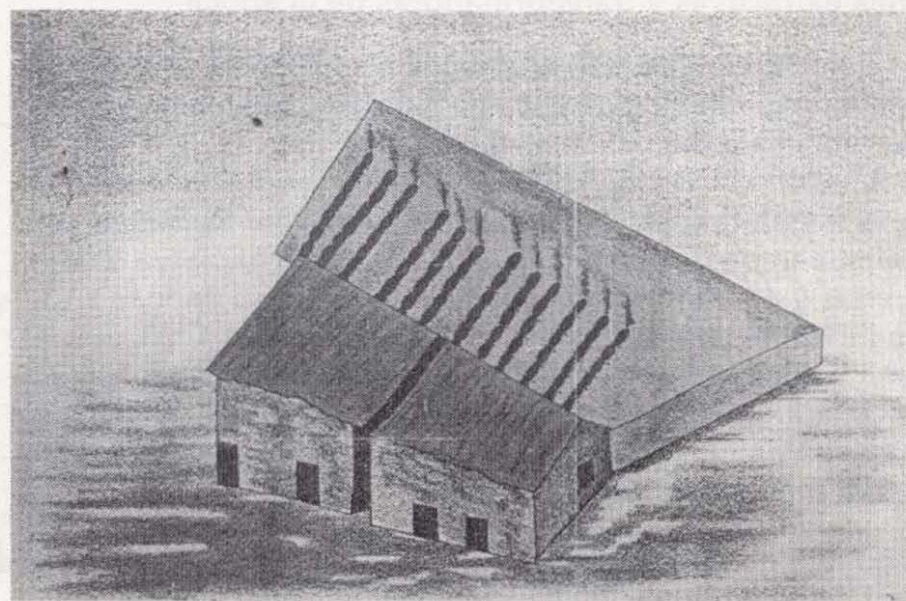


Figura 6. -Dibujo de los hornos antiguos de aludeles, para la destilación de mercurio en Almadén. Tomado del Folleto Mercurio Español de Almadén. Exposición Universal de París. 1937.

SIGLO XVIII: REORGANIZACION Y RECUPERACION

En el siglo XVII, tras la Paz de Westfalia se inicia el declive de España y el auge de Inglaterra y Francia. El XVIII se inicia ya con un claro predominio británico. La Guerra de Sucesión, en la que intervienen ambas potencias, supondría la estocada a la maltrecha economía española y principalmente a la de Castilla. Sin embargo, en dicha Centuria, iba a producirse una cierta recuperación nacional al amparo de amplias transformaciones sociales que podríamos resumir como el declive de los sistemas feudal y gremial a costa del nacimiento de una exigua burguesía, principalmente ubicada en la periferia del país. Habría medidas políticas al efecto, tal es el caso de eliminar la obligatoriedad de la prueba de sangre para ejercer un oficio. Todo esto ocurre al compás de una amplia renovación científica. Se secularizan las Universidades y se crean las Sociedades Económicas. Por fin entre 1787 y 1797 los estamentos productivos superarían a los improductivos, las "manos muertas".

FELIPE V, nombrado rey en 1700, se encontraría al país con una carencia total de industria. Gran admirador de COLBERT aplica sus teorías protectoras de la industria y el mercantilismo, iniciándose la recuperación económica. Por fin se liberaliza el comercio con Europa, se dan privilegios a los sectores productivos y se prohíbe la exportación de las materias primas necesarias para la industria nacional.

En este nuevo marco económico, un particular llamado BENITO BERRUGUETE, encarga al ingeniero JUAN VERGEL el diseño de la fábrica de hojalata de Ronda, que fue dirigida desde sus inicios por el suizo MEURON. Asimismo, a mediados de siglo, JUAN GARCIA CABALLERO descubre las minas de cinc de Riopar. Poco después, en 1761, el austriaco JUAN JORGE GRAUPNER funda la fábrica de hojalata de San Juan de Alcaraz.

Según cuenta EUGENIO LARRUGA, en las *Memorias Políticas y Económicas* (1793), en Traspinedo se fabricaba alambre de latón. En la obra de este autor, escrita entre 1787 y 1800 se puede obtener una relación de las industrias extractivas y transformadoras de la época.

El siglo XVIII es para el profesor F. R. MORRAL (1984) el de mayor esplendor para la farga catalana, destacando como centro productor de hierro, durante toda la Centuria, la población de Ripoll. En 1727 se funda en el Nuevo Mundo una metalurgia privada, se trata de la Real Sociedad Guipuzcoana de Caracas y Azeritis. En 1752 había ya 270 ferrerías y 44 martinets en el País Vasco, habiéndose superado las cifras productivas del siglo XVI. En 1753 se crea una calderería en Avilés. Y, en 1763, JAVIER MARIA DE MUNIBE, CONDE DE PEÑAFLORIDA, organiza la Real Sociedad Vascongada de Amigos del País, tratando de mejorar la metalurgia de esta región.

Según señala ANTONIO DEL VALLE (1989), en el XVIII, ocurren tres importantes acontecimientos mineros, a saber: El primer asiento de Riotinto, en 1720; el incendio de las minas de Almadén, en 1755; y el empleo generalizado de la pólvora en las minas peninsulares, que ayudaría a superar las carencias de mano de obra. De todas formas

los datos del catastro del Marqués de la Ensenada, nos muestran una casi paralización de las minas.

Respecto a Riotinto, señalar que el asiento dado al sueco LIBERTO VOLTERS, supuso una nueva innovación en la metalurgia del cobre, al introducir el sistema de cementación.

En Almadén, tras un incendio de duración anual, se produjo un desabastecimiento de mercurio que repercutió principalmente en las minas de Nueva España. Se forzó la producción en Guancavelica, lo que supuso un completo fracaso, que además influiría en el hundimiento de las minas de 1786. Por los motivos expuestos hubo que importar azogue. Mientras tanto, en Almadén, gracias a los sabios consejos de GUILLERMO BOWLES se trajeron a varios ingenieros y técnicos de minas alemanes, por cuyo trabajo, poco a poco, se fueron recuperando las explotaciones. Asimismo esta situación propiciaría un incremento de la prospección, descubriéndose numerosos yacimientos, tal es el caso de: Las Cuevas, El Entredicho y Valdeazogues (1774), la Nueva Concepción (1779) o Guadalupe (1783). En 1782 la producción ya había alcanzado un buen nivel.

Tras el Tratado de París, firmado en febrero de 1763, vino un período de paz, tan conveniente para nuestros intercambios económicos con América. Las medidas liberalizadoras de 1765 ayudarían notablemente al desarrollo del comercio. Pero no es hasta 1778 cuando se declara libre el comercio con América. Señala GLORIA OTERO (1993), que "la creación de un clima favorable al desarrollo económico posibilitó la primera industrialización a escala del país, un proceso en el que intervino directamente el Estado mediante la construcción de las Reales Fábricas". El impulsor de estas factorías fue CARLOS III. Dicho monarca implanta el Despotismo Ilustrado, donde la ciencia, la técnica y la industria crecen al unísono bajo la protección del Estado que trata de suplir la debilidad industrial de la Sociedad Civil, fruto, entre otros factores, del cómodo monopolio comercial con América.

En 1766, CARLOS III decide la instalación de una metalurgia en Eugui, para la producción de armamento y munición de hierro colado. Se eligió este lugar por sus bosques, proximidad del río y minas, así como por la tradición en el oficio, existente desde el siglo XV, aunque decadente por aquellos años. Unos años después se decide crear una instalación similar en otro municipio de Navarra, Orbaiceta. En los hornos instalados se consume carbón vegetal. Asimismo, en 1780 se inaugura la Real Fábrica de espadas y armas de corte, de Toledo. El procedimiento de trabajo queda regulado a través de instrucciones concisas a los operarios para la obtención del acero, que son recogidas en un manual, se trata del *Método de Trabajo para la fabricación de espadas de Toledo*.

La iniciativa privada se va abriendo paso, lenta e insuficientemente. En 1773, Albacete contaba con 18 fábricas de cuchillos.

En 1788, ANTONIO RAIMUNDO IBAÑEZ, considerado primer industrial del hierro español, instala las ferrerías del río Cervos, en Sargadelos (Galicia), empleando a 300 obreros y produciendo 100.000 Tm. en ochenta años. Aquí, en

1797, se instala un horno alto, alimentado con carbón vegetal y con producciones de 600 kg. de metal cada ocho horas.

A finales del XVIII se instalaron fábricas siderúrgicas en Trubia y Oviedo, Asturias, para la fabricación de cañones (ADARO, L. 1986). En 1796 se usó en esta factoría por primera vez en España el carbón de cok, para las pruebas, realizadas por ingenieros militares, no tuvieron éxito. Recordemos que hacia 1705, ABRAHAM DARBY, puso en marcha, en Inglaterra, un proceso de coquización. Al crecer en altura los hornos el combustible clásico, el carbón vegetal, era aplastado por el peso de la carga, impidiendo el tiro. El cok vino a resolver este problema, ya que era poroso y resistente. En 1791, había en Gran Bretaña 81 hornos de cok, cifra que comparada a los existentes en nuestro país nos puede ayudar a cuantificar nuestro atraso. Los ingleses habían iniciado ya su Revolución Industrial en 1765 (AYALA, F. J., 1986).

También a finales del siglo JOSE VICENTE PEREDA instala una planta de producción de chapa de acero en Fontaneda, Asturias. El territorio del Principado empezaba a destacar industrialmente; así, un informe de la Marina, de 1770-71, cita ya explotaciones de carbón en la cuenca asturiana. El combustible salía del puerto de Gijón hacia la fábrica de cañones de La Cavada, en Santander, y hacia las bases navales del Ferrol y Cartagena. En Cataluña también hubo una cierta actividad siderúrgica (Fig. 7).

La legislación minera también fue acoplándose a los nuevos tiempos. En 1783 se publican las últimas Ordenanzas de minería para el Virreinato de Nueva España. Y, en 1794, aparecen las *Ordenanzas de las minas del Perú y de*

más provincias del Río de la Plata. En Estas leyes se recoge toda la experiencia acumulada desde los tiempos de FELIPE II.

Respecto a las innovaciones tecnológicas hay que destacar, hacia 1765, los trabajos de WATT que logra la conversión del movimiento rectilíneo en circular, gracias al mecanismo biela-manivela, aplicándolo a su máquina de vapor, que cuenta con condensador. Esto fue de suma importancia para el desagüe de las minas. Aunque en dichos menesteres hubo otras máquinas de vapor que la antecedieron, tal es el caso de las inventadas por SAVERY, a finales del XVII, o por NEWCOMEN, a comienzos de siglo. En España la primera máquina de WATT la montó JORGE JUAN, en 1797, para el dique de carenar en la dársena de Cartagena. Poco después, según nos cuenta JOSE MARIA GARCIA SANZ, se montaría una de estas máquinas en el pozo de San Teodoro de Almadén. En América el primer intento de instalación se lo debemos a ISIDORO RODRIGUEZ, en 1726, aunque habría que esperar a principios del siglo XIX para verlas en funcionamiento.

También señala GARCIA SANZ que la brújula no se aplicó en Almadén a las labores subterráneas hasta 1777. Ya denunciaba GUILLERMO BOWLES, en 1775, que el laboreo no se hacía siguiendo la dirección natural de la veta, sino que se realizaba de forma irregular. Sin embargo la observación de planos de minas americanas, con trazados rectilíneos de las galerías y frentes de labor geométricos nos lleva a sospechar una antelación mucho mayor en su empleo.

En la metalurgia hay que destacar los frustrados intentos de aplicación en México, Potosí y Nueva Granada del mé-

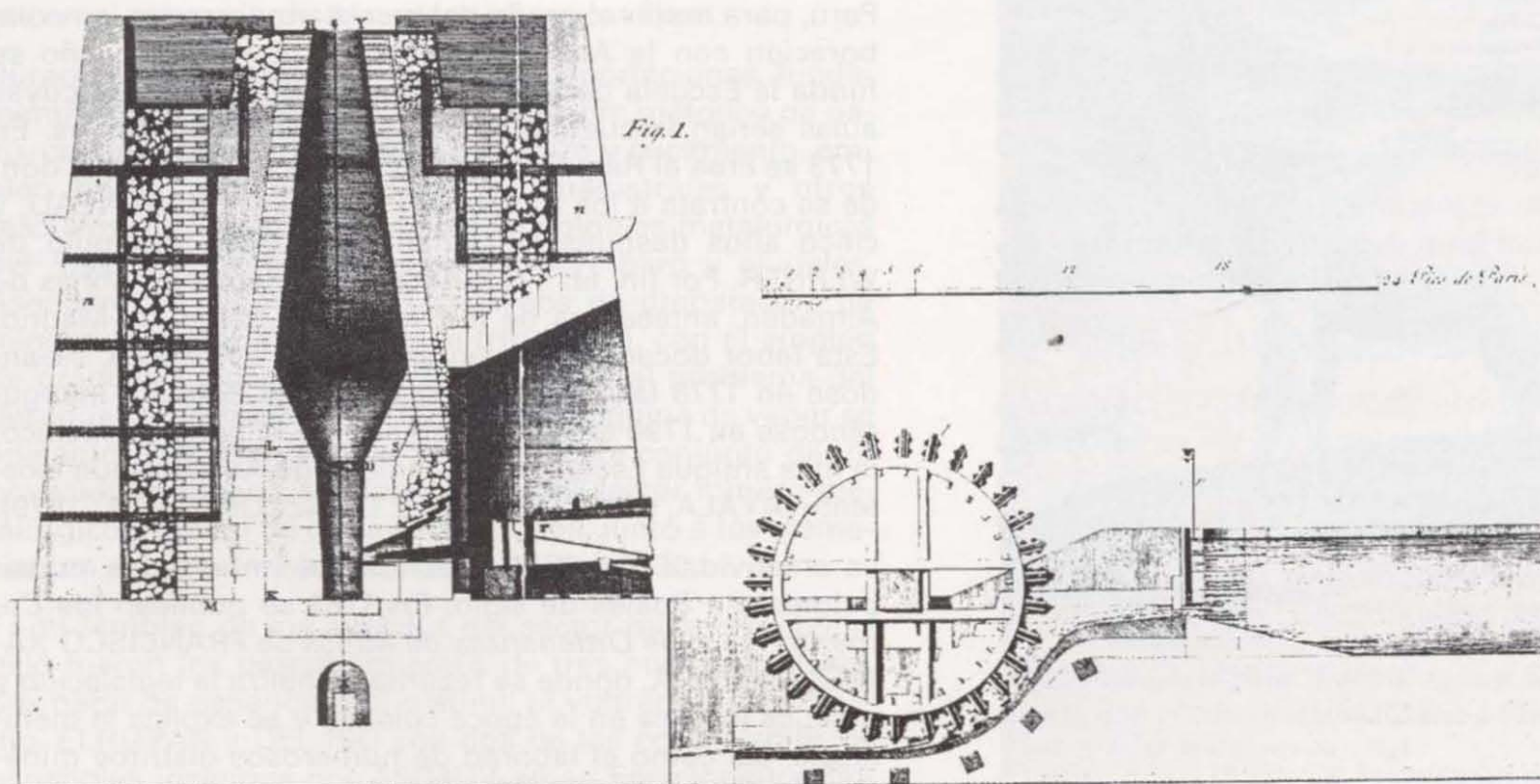


Figura 7. -Horno alto de San Sebastián de Muga, con fuegos unidos hidráulicamente. Del Tratado de Artillería del Real Colegio Militar de Segovia, 1803 (Tomado de ADARO RUIZ-FALCO, L. 1986)

todo de los toneles de amalgamación, inventado a finales del XVIII, en Schemnitz, por IGNAZ VON BORN. En estos ensayos tuvieron una cierta importancia los mineros sajones llevados a América por iniciativa de FAUSTO ELHUYAR. En Guancavelica seguían funcionando los hornos de aludeles según se aprecia en los dibujos de AMADEO FREZIER (Fig. 8), en su viaje a la América Meridional, realizado entre 1712 y 1714, o los del checo TADEUS HAENKE (Fig. 9), miembro de la expedición de Malaspina, 1788-1794. Dibujos similares nos muestra otro miembro de la misma expedición, JOSE DOMBEY, en las minas de mercurio descubiertas en Coquimbo, Chile.

Asimismo hubo innovaciones financieras. El gremio de azogueros de Potosí crea, en 1752, el Banco de Rescates que luego pasó al Estado con el nombre de Banco de Rescates de San Carlos. En 1766, se crean instituciones similares en Méjico; es el nacimiento de nuestro sistema bancario.

Este siglo también fue el del descubrimiento de los tres metales hispánicos: el platino, hallado en Nueva Granada por los mineros y dado a conocer al Mundo por ANTONIO DE ULLOA; el volframio, descubierto por los hermanos

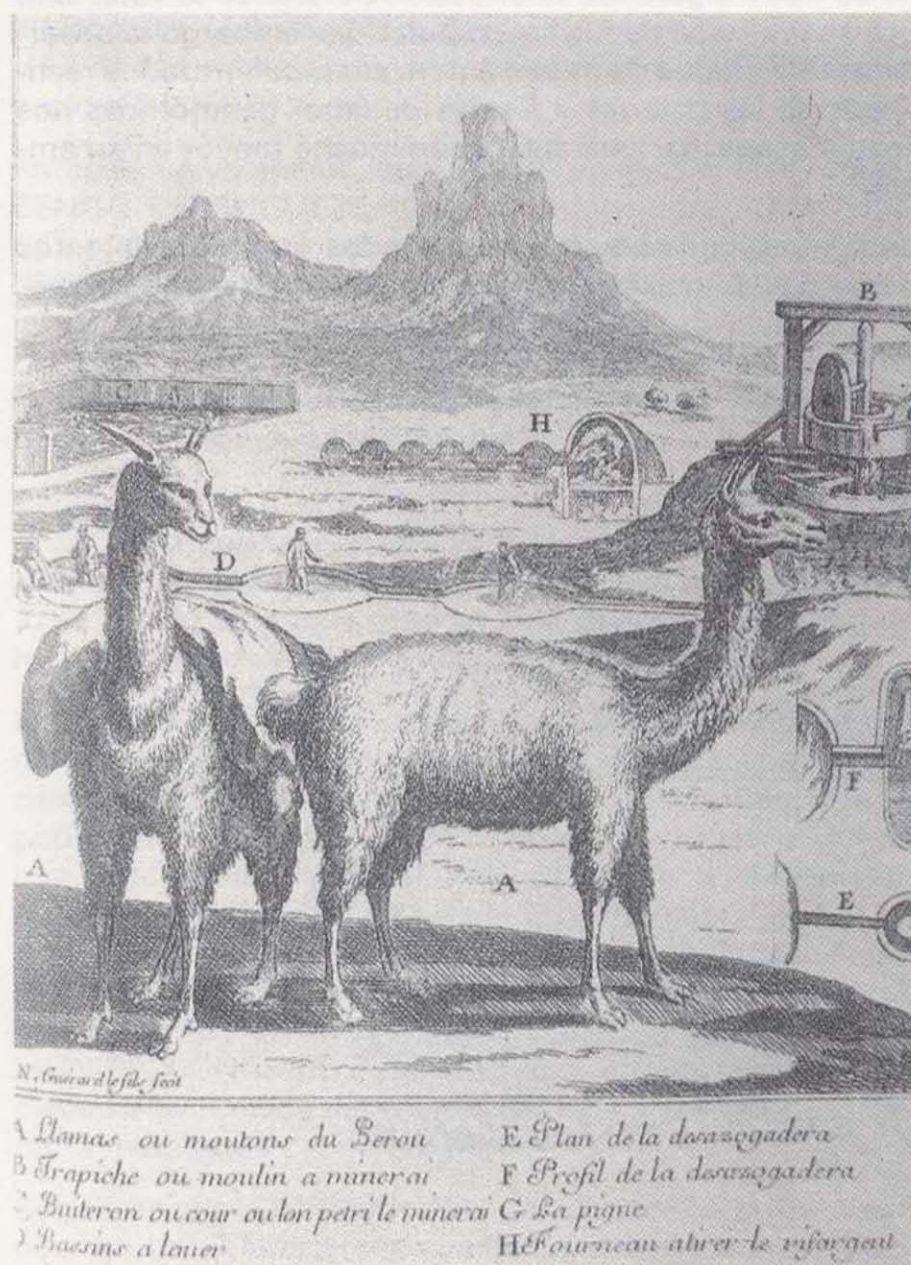


Figura 8. -Hornos de aludeles, en Guancavelica (Perú), de un solo caño, con refrigeración por agua. Según AMADEO FREZIER, en la *Relation du voyage de la mer du Sud*. (1717)



Figura 9. -Hornos de aludeles de Guancavelica, dibujados por el checo TADEUS HAENKE a finales del XVIII (Archivo del Real Jardín Botánico de Madrid). Se observan ocho encañados para dos hornos y la refrigeración por aire.

JUAN JOSE y FAUSTO ELHUYAR, en 1783; y el vanadio aislado por ANDRES MANUEL DEL RIO, en 1801.

La Ciencia entra con fuerza de la mano del Estado. En 1752, ANTONIO ULLOA, solicita a FERNANDO VI la creación del Real Gabinete de Historia Natural. Se contrata a expertos extranjeros, tal es el caso del irlandés BOWLES, los hermanos KETERLIN, de nacionalidad alemana, o el químico francés LA PLANCHE. En 1765, JORGE JUAN dirige la participación española en la expedición geodésica al Perú, para medir el grado del meridiano terrestre, en colaboración con la Academia francesa. Ese mismo año se funda la Escuela de Minas de Freiberg, en Sajonia, cuyas aulas serían frecuentadas por estudiantes españoles. En 1773 se crea el Real Seminario Patriótico de Vergara, donde se contrata a los franceses PROUST y CHABANEAU, y cinco años después al alemán HERRGEN, discípulo de WERNER. Por fin, en 1777, nace la Academia de Minas de Almadén, antecesora de la Escuela de Minas de Madrid. Esta labor docente también es llevada a América, creándose en 1778 la Academia de Minas de Potosí e inaugurándose en 1790 el Real Seminario de Minería de México, la más antigua Escuela de Ingeniería de América aun existente (AYALA, F. J., 1992, LOPEZ DE AZCONA, J. M., 1979).

La creatividad científica y técnica fue importante, principalmente a finales de siglo. En 1761 se publican los *Comentarios a las Ordenanzas de Minas* de FRANCISCO XABIER GAMBOA, donde se resume y analiza la legislación y práctica jurídica en la época colonial y se explica la metalurgia, así como el laboreo de numerosos distritos mineros. En 1775 GUILLERMO BOWLES escribe *Introducción a la Historia Natural y la Geografía Física de España*, donde se enumeran muchas minas peninsulares. Asimismo, en 1785, JUAN RAMON ITURRIZA Y ZABALA edita la *Historia*

General de Vizcaya, donde se comentan las vicisitudes históricas de la industria del hierro en dicho Señorío. Sin embargo son los ingenieros de minas españoles, de Almadén y de Freiberg, los que escribieron las páginas más interesantes de la historia minera de finales del XVIII. CRISTOBAL STORR, primer Director de la Academia de Almadén, escribió en alemán un *Curso de Mineralogía y Geometría Subterránea*, cuya traducción nunca se terminaría. ANTONIO ULLOA, nos pone al día sobre la minería del Nuevo Mundo en *Noticias Americanas*, publicado en 1792. Destacamos asimismo, en la última década del siglo los primeros tratados de Mineralogía escritos por españoles, en América, la *Orythología* de JUAN JOSE ELHUYAR y la *Oritognosia* de ANDRES MANUEL DEL RIO. En 1803, ANGEL DIAZ, cuñado de JUAN JOSE publica en Nueva Granada una importante obra de laboreo y metalurgia, se trata del *Tratado de Mineralogía*.

Con la Guerra de la Independencia (1808-1814) se acaba nuestra Edad Moderna, iniciándose en 1809 el proceso de emancipación de los Virreinos americanos, fruto de su temprana maduración por el impulso civilizador español. La contienda supuso la destrucción de nuestra naciente industria. Los franceses acabaron con Orbaiceta, Eugui, Fontamena y otras factorías. Los ingleses volaron fábricas como la de porcelanas del Retiro o la textil de Béjar. Tras la guerra, con FERNANDO VII, en un país arruinado y con un ambiente de intolerancia, llegamos a las cotas más bajas tras la digna recuperación ilustrada del XVIII.

CONCLUSIONES

La minería en la época del Imperio se concentró en los metales preciosos, principalmente plata, en América, así como en el mercurio de Almadén y Guancavelica.

Durante este período se realizaron aportaciones fundamentales a las técnicas de amalgamación: métodos de patio, canoas, estufas, buitrones o de cazo y cocimiento, empleo de la capellina, aporte de magistrales y otros reactivos, etc. Igualmente en las tecnologías metalúrgicas del mercurio: hornos de xabecas, reverbero y aludeles. Asimismo se innovaron los procesos de preparación de minerales, especialmente en la trituración, con el empleo de grandes ruedas hidráulicas. En torno al problema del desagüe de las minas, AYANZ con su máquina de vapor se adelantó unos cien años a SAVERY. Este conjunto de innovaciones situaría a la tecnología del sector minero-metalúrgico español de metales preciosos, junto a los alemanes, en cabeza del Mundo, desde 1550 a 1750.

Fruto también de los avances del sector minero-metalúrgico fueron los descubrimientos de tres nuevos metales, por parte de españoles: el platino, el volframio y el vanadio. ELHUYAR y DEL RIO son dos de los ocho científicos españoles incluidos por ASIMOV en su *Enciclopedia Biográfica de la Ciencia y Tecnología*.

A nivel científico, cabe señalar también la elaboración de los primeros tratados mineralógicos escritos por españo-

les. Estos fueron realizados en América, por los ingenieros españoles JUAN JOSE ELHUYAR y ANDRES MANUEL DEL RIO, a finales del XVIII (PUCHE, O. y AYALA, F. J., 1993). Es conveniente recordar que al inicio de la enseñanza de la minería en Almadén (1777) los pilares básicos para el estudio de esta carrera eran la Mineralogía y la Geometría Subterránea.

La casi totalidad de estas innovaciones y descubrimientos tuvieron lugar en América, en estrecha relación con focos mineros. En la Península es destacable la recuperación industrial del XVIII.

La España peninsular recibió durante este período una media anual de doce millones de pesos procedentes del sector minero americano, que en buena medida pasaron a la economía de los países europeos acreedores de la corona, impidiendo la creación de una Hacienda moderna.

América recibió una Civilización, de la economía a las Instituciones, y un idioma común, que desatado el inevitable proceso de emancipación, no serviría para mantener unido políticamente, contra el ideal bolivariano, a la población hispanoamericana.

Comenzaría entonces para España la búsqueda de unas nuevas señas de identidad en el proceso de paso que PRADOS DE LA ESCOSURA ha denominado: "de Imperio a Nación".

BIBLIOGRAFIA

ACOSTA, J. (1590): *Historia Natural y Moral de Indias, en que se tratan las cosas notables del cielo y elementos, metales, plantas y animales dellas: y los ritos y ceremonias, leyes y gobierno, y guerras de los indios*. Imp. Juan León. Sevilla

ADARO, L. (1987-1994): *Datos y documentos para una Historia Minera e Industrial de Asturias*. Tomos I, II y IV. Ed. Cám. Of. Com., Industr. y Navegación de Gijón et al. Gijón.

ADARO, L. (1986): *Los comienzos de las fábricas de municiones gruesas de Trubia y de armas de Oviedo*. Bol. Inst. Est. Asturianos. Oviedo.

AGRICOLA, G. (1556): *De Re Metallica*. Froben. Basilea.

ANONIMO (1768): *Recueil de planches sur les sciences, les arts liberaux, et les arts mechaniques avec leur explication*. Ed. Chez Briasson et al. París. Trad. al castellano por encargo de Fos Bucraa, en 1975. Ed. Velázquez. Madrid.

ASIMOV, I. (1973): *Enciclopedia Biográfica de la Ciencia y la Tecnología*. Rev. de Occidente. Madrid.

AYALA, F. J. (1986): *Tecnología y Sociedad en la Primera Revolución Industrial*. Industria Minera. Madrid.

AYALA, F. J. (1992): *La Técnica en el descubrimiento y colonización de América*. Bol. Inst. Ing. de España. Madrid.

AYALA, F. J. (1994): *La aportación científica y tecnológica de Jorge Agrícola*. Bol. Geol. Minero. ITGE. Madrid.

ARAGON DE LA CRUZ, F. (1992): *España y América en el descubrimiento y metalurgia del platino*. IX Congr. Int. Hª de América. Org. AHILA, 407-420. Sevilla.

BAQUIJANO Y CARRILLO, J. (1793): *Historia del descubrimiento del cerro de Potosí*. Mercurio Peruano, 211-217.

BARBA, A. A. (1640): *Arte de los metales, en que se enseñaba el verdadero beneficio de los de oro, y plata por azogue. El modo de fundirlos todos, y como se han de refinar y apartar unos de otros*. Ed. de 1770. Imp. de la Viuda de Manuel Fdez. Madrid.

BARGALLO, M. (1955): *La Minería y la Metalurgia en la América española durante la época colonial*. Ed. Fondo de Cultura Económica. México-Buenos Aires.

BAS, M. y al (1992): *La empresa de indias*: análisis actualizado de la gestión de una multinacional de los siglos XV y XVI. An. de Mec. y Electr., 69, 33-44.

BERNALDEZ, F. y RUA DE FIGUEROA, R. (1861): *Memoria sobre las minas de Almadén y Almadenejos*. Imp. Nal. Madrid.

BIRINGUCCIO, V. (1543): *Pirotechnia*. Ed. de 1966. M.I.T. Press. Cambridge.

BORN, I. (1786): *Ueber das Anquicken der gold und silberhältigen Erze, Schwarzkupfer und Hüttenspeise*. Vienna.

BOTELLER, A. (1562-1566): *Memorial y cartas de Mossen Antonio Boteller, sobre beneficiar con azogue los desechos de los terrenos de las minas de Guadalcanal*. En Noticias históricas de las minas de Guadalcanal, II.

BOWLES, G. (1775): *Introducción a la Historia Natural y a la Geografía Física de España*. Imp. Real. Madrid.

BROWN, K. (1992): *La distribución del mercurio a finales del período colonial y los trastornos provocados por la independencia hispanoamericana*. En Minería Colonial Latinoamericana, Eds. AVILA, D. y al. Ed. Inst. Nal. de Antropología e Historia. México.

CALVO, B. y GONZALEZ, J. (1992): *Minas y minerales de Iberoamérica*. Ed. ITGE Madrid.

CAÑETE, P. V. (1787): *Guía histórica, geográfica, física, política, civil y legal del Gobierno e Intendencia de la Provincia de Potosí*. Ed. Potosí. 1952. Potosí.

CARRILLO LASO, A. (1844): *Tratado de las minas antiguas de España*. Imp. Alegría y Charlain. Madrid.

CASAS, B. (1559): *Historia de las Indias*.

CASTILLO, M. (Ed.) (1993): *Intercambio Tecnológico y Cultural entre América y Europa durante el período colonial español*. Minería y Metalurgia. Ed. Muñoz Moya y Montraveta. Sevilla-Bogotá.

CESPEDES DEL CASTILLO, G. (1983): *América Hispánica. 1492-1898*. En Historia de España, VI. Ed. TUÑON DE LARA, M. Ed. Labor. Barcelona.

CIEZA DE LEON, P. (1553): *Primera parte de la Crónica del Perú, que trata de la demarcación de sus provincias, la*

descripción de ellas, las fundaciones de las nuevas ciudades, los ritos y costumbres de los Indios, con otras cosas extrañas dignas de saberse

. Imp. Casa Martín Montesdo-ca. Sevilla.

CROZIER, R. D. (1992): *Los procesos de patio y buitron: El beneficio de plata por amalgamación*. Latinoamer. Marz. 92, 26-31.

CROZIER, R. D. (1993): *Silver processing in Spanish America*. The patio and buytron processes. C.I.M. Bull., V. 86, 972, 86-91.

DEL RIO, A. M. (1795): *Elementos de Oritognosia o del conocimiento de los fósiles, dispuestos según los principios de A. G. Werner, para el uso del Real Seminario de la Minería de México*. Imp. Zúñiga y Ontiveros. México.

DIAZ, J. J. (1802): *Tratado de Mineralogía*.

ELHUYAR, F. y ELHUYAR, J. J. (1785): *Mémoire sur la nature du Wolfram, a celle d'une nouveau métal qui entre dans sa composition*. R. Ac. Sci., Inscrip. et Bell. Arts de Toulouse.

ELHUYAR, J. J. (finales del XVIII) *Orygthología*. Nueva Granada. Manuscrito de los Pap. de Mutis, C. Archiv. R. Jardín Botánico de Madrid. Div. III.6.1.2.3.

FERNANDEZ PEREZ, J. y MATILLA TASCON, I. (1990): *Las minas de Almadén y las técnicas de amalgamación en las metalurgias hispano-americanas*. En Memoria de las Reales Minas de Almadén, de Agustín de Betancourt (1773), 28-85. Ed. Minist. Industr. y Energ. Madrid.

FISHER, J. (1977): *Minas y mineros del Perú colonial 1776-1824*. Ed. Inst. Est. Peruanos. Lima.

FLORISEL (1927): *El cuento y las cuentas del oro en América*. México

FREZIER, M. (1717): *Relation du voyage de la Mer du Sud, aux cotes du Chili, du Perou et du Brasil*. 2 Vol Imp. Pierre Humbert. Amsterdam. Trad al castellano por GUERIN, M. A. en 1984. Biblioteca de Ayacucho.

GAMBOA, F. J. (1761): *Comentarios a las Ordenanzas de Minas dedicadas al catholico Rey, Nuestro Señor D. Carlos III (que Dios guarde), siempre magnánimo, siempre feliz, siempre augusto*. Ed. Of. Joaquín Ibarra. Madrid.

GARCIA CABALLERO, J. J. (1759): *Tratado del descubrimiento de la mina de Riopar*.

GARCIA SANZ, J. M. (1971): *Almadén, riqueza de una mina y pobreza de un pueblo (1)*: Geográfica.

GARCIA TAPIA, N. (1989): *Inventores españoles del Siglo de Oro*. Invest. y Ciencia. Barcelona.

GARCIA TAPIA, N. (1992): *Del Dios del fuego a la máquina de vapor. La introducción de la técnica industrial en Hispanoamérica*. Ed. Ambito. Madrid.

GONZALEZ, T. (1832): *Registro y relación general de las minas de la corona de Castilla*. Ed. Miguel de Burgos. Madrid.

HABASHI, F. (1982): *Chemistry and metallurgic in New Spain and the Spanisch South American colonies*. C.I.M. Bull. V. 75, 842, 133-138.

HENAO, G. (1689): *Averiguaciones de las antigüedades de Cantabria; enderazadas principalmente a descubrir las de Guipúzcoa, Vizcaya y Alaba, provincias contenidas en ella, y a honor y gloria de San Ignacio de Loyola, nacido en la primera y originario de las otras dos, patriarca y fundador de la Compañía de Jesús*. Imp. Eugenio Antonio García. 2 Vol. Salamanca.

HUMBOLDT, A. VON (1805-1832): *Viaje a las regiones equinociales del Nuevo Continente, realizado de 1799 a 1804*. 5 Vol. Ed. de 1826. Imp. Casa de la Rosa. París.

HUMBOLDT, A. VON (1841): *Ensayo político del Reino de Nueva España*. 2 Vol. Trad. al castellano por OLIVE, P. M. Imps. Nuñez e Ibarra.

ITURRIZA Y ZABALA, J. R. (1785): *Historia General de Vizcaya, comprobada con autoridades y copias de escrituras, y privilegios fehacientes. En la cual se relaciona su población y posesión perpetua por sus naturales, conservando su primitiva lengua, fueros, franquezas y libertades. Origen de las Merindades, y su gobierno antiguo; catálogo de los señores que hubo. Barones ilustres, batallas, incendios, número de Anteiglesias, Aldeas y Parroquias, Patronos, Beneficios, Almas de Comunión, Hermitas, Casas, ferrerías, molinos, hogueras, villas y combentos con sus fundaciones*. Mss. Ac. Hist.

IZQUIERDO, J. J. (1958): *La primera casa de las ciencias en México. El Real Seminario de Minería (1792-1811)*. Ed. Ciencia. México.

JARS, J. (1780): *Voyages metalurgiques*. 2 Vol. Imp. L. Cellot et al. París.

LANG, M. (1986): *El derrumbe de Huancavelica en 1786. Fracaso de una reforma borbónica*. Histórica, 10, 213-226.

LARRUGA, E. (1787-1800): *Memorias políticas y económicas sobre los frutos del comercio, fábricas y minas de España, con inclusión de los Reales Decretos, ordenes y cédulas, aranceles y ordenanzas expedidas para su gobierno y fomento*. Imps. de Benito Cano y Antonio Espinosa. Madrid.

LE FLEN, J. P. et al. (1983): *La frustración de un Imperio (1476-1714)*. En Historia de España, V. Ed. TUÑON DE LARA, M. Ed. Labor. Barcelona.

LOHMANN VILLENA, G. (1949): *Las minas de Huancavelica en los siglos XVI y XVII*. Pub. Esc. Hispano-Americanos. Sevilla.

LOPEZ AZCONA, J. M. (1979): *La enseñanza de la minería en el mundo hispánico. Notas históricas*. Madrid.

LOPEZ AZCONA, J. M. y al. (1990): *Minería iberoamericana. Repertorio bibliográfico y biográfico*. 4 Vol. Ed. ITGE Madrid.

LOPEZ AZCONA, J. M. (1992): *La Minería en Nueva Granada. Notas históricas 1500-1820*. Bol. R. Soc. Geográfica, CXXVIII, enero-diciembre 92, 391-394.

MAFFEI, E. (1877): *Centenario de la Escuela de Minas de España 1777-1877*. Ed. Esc. Esp. de Minas. Madrid.

MAFFEI, E. y RUA DE FIGUEROA, R. (1861): *Apuntes para una biblioteca española* Ed. de 1970. Congreso. Int. de Minería. Cát. de San Isidro. León.

MATILLA TASCON, A. (1958-1987): *Historia de las minas de Almadén*. 2 Vol. Ed. MAYASA. Imp. Gráf. Osca. Madrid.

MENDEZ, L. M. (1992): *Los bancos de rescate en Hispanoamérica (1747-1832): El proceso histórico y sus fundamentos ideológicos. Estudio comparado para México, Chile y Perú*. En Minería Colonial Iberoamericana. Eds. AVILA, D. y al. Ed. Inst. Nal. Antropología e Historia. México.

MESEGUER PARDO, J. (1949): *El esfuerzo minero y metalúrgico de España en el Nuevo Mundo*. Bol. R. Soc. Geográfica, T. LXXXV. Madrid.

MONARDES, J. (1572): *Diálogos del hierro y sus grandezas*.

MONTESINOS, F. (1642): *Anales del Perú*. Ed. en 1906 por Víctor Mautus.

MORRAL, F. R. (1993): *Iron in Iberia, a mini-history*. C.I.M. Bull., V. 86, 967, 106-111.

OÑATE, J. (1624): *Tratado muy útil y provechoso de Re Metallica, con todas las reglas y normas de labrar minas y beneficio de metales, así de fuego como de azogue*.

OTERO, G. (1988): *Las Reales Fábricas una utopía razonable*. Rev. M.O.P.U., 356, julio-agosto, 134-145.

PALACIOS REMONDO, J. (1993): *Los Delhuyar. La Rioja en América. Biografía de los hermanos Juan José y Fausto a través de fuentes y bibliografía*. Ed. Consej. Cult., Dep. y Juv. Gobierno de la Rioja. Logroño.

PELAYO, F. (1990): *La adquisición de las técnicas mineras en la España de la Ilustración (1770-1800)*. En Ciencia, Técnica y Estado en la España Ilustrada, 73-87. Ed. FERNANDEZ PEREZ, J. y GONZALEZ TASCON, I. Ed. M.E.C. Madrid.

PELAYO, F. (1990): *La aplicación de las técnicas mineras europeas en Nueva Granada*. Coll. Science et Empire. UNESCO. París.

PELAYO, F. (1992): *Ensayo sobre los métodos de beneficio de amalgamación y de fundición realizados por Juan José de Elhuyar y José Celestine Mutis, en Nueva Granada*. Bol. Geol y Minero, 103-3, 570-620.

PEREZ DE VARGAS, B. (1568): *De re metallica, en el qual se tratan muchos y diversos secretos del conocimiento de toda suerte de minerales, de como se deuen buscar, ensayar y beneficiar, con otros secretos e industrias notables, assi para los que tratan los oficios de oro, plata, cobre, estaño, plomo, azero, hierro y otros metales, como para muchas personas curiosas*. Imp. Pierres Cosin. Madrid.

PRIETO, C. (1977): *La Minería en el Nuevo Mundo*. Ed. Rev. de Occidente. Madrid.

PUCHE, O. y AYALA, F. J. (1993): *La "Orygthología" de Juan José Elhuyar (1754-1796) y la "Oritognosia de Andrés Manuel del Río (1764-1849), primeros tratados geológicos escritos por españoles, en América*. Bol. Geol. Minero, 103-1, 72-107.

PUCHE, O. y BROWN, K. W. (1992): *Pedro Subiela un alumno de Almadén en América*. Industr. Minera, 319, mayo 92, 29-38.

PUCHE, O. y MATA, J. M. (1992): *Enseñanza de mineralogía y Petrología con especial atención a las Escuelas de Minas*. Industr. Minera, 315, enero 92, 21-37.

ROMEY DE ARMAS (1989): *La Real Escuela de Mineralogía de Madrid 1789-1808*. Industr. Minera, 287, marzo. 89, 7-18.

SAMAME BOGGIO, M. (1980): *Historia de la minería peruana*. Industr. Minera, 203, nov. 90, 9-32.

SERRANO, C. (1993): *Transferencia de tecnología y relaciones de intercambio. Caso de estudio: La amalgamación y las Escuelas de Minería en la colonia*. Rev. Metallurgica, 13, 53-56. FNI-UTO. Oct. 93.

SIMONIN, L. (1867): *La vie souterraine ou les mines et les mineurs*. Ed. Lib. de L. Hachette et Cie. Paris.

SOBRINO, J. L. y al. (1981): *Libro del centenario de Peñarroya*. Madrid.

SOLORZANO Y PEREIRA, J. (1647): *Política Indiana*. Imp. Real de la Gaceta. 2 Vol. Madrid.

TARGHETTA, L. (1984): *La Castilla industrial en la época de Carlos I*. Lecc. Entrega de Títulos Escuela Minas. Madrid.

TECNIBERIA (1989): *Ayer y hoy de la minería en España*. Madrid.

THOMPSON, J. V. (1991): *Silver recovery by older methods. From "forest fire" smelting to the patio process. The fascinating metallurgy of the cinderella metal*. E & MJ. junio 91, 39-41.

ULLOA, A. (1792): *Noticias americanas. Entretenimientos filosófico-históricos sobre la América Meridional y la Septentrional Oriental. Comparación general de los territorios, climas y producciones en las especies vegetal, animal y mineral; con relación particular de los indios de aquellos países, sus costumbres y usos, de las petrificaciones de cuerpos marinos y de las antigüedades: Con un discurso sobre el modo con que pasaron los primeros pobladores*. Imp. Real. Madrid.

VALLE, A. (1989): *La política minera y metalúrgica de Carlos III*. Industr. Minera, 288, abril 89, 11-19.

ZARRALUQUI, J. (1934): *Los almadenes del azogue*. 2 Vol. Lib. Int. Roma. Madrid.

Original recibido: Enero de 1995.

Original aceptado: Febrero de 1995.